

L'evoluzione



©serg_dibrova/shutterstock

In questo fascicolo sono raccolti alcuni articoli sulle strategie dell'evoluzione pubblicati sull'*Aula di Scienze* (aulascienze.scuola.zanichelli.it); nel sito si possono trovare anche altre notizie e contenuti multimediali su varie discipline scientifiche. Qui, in particolare, troverai:

- Colorazioni più chiare contro i cambiamenti climatici;
- Contro il freddo: ecco le strategie della natura;
- Ghiaccio bollente;
- Consigli vegetali per resistere al gelo;
- Colori d'autunno: il foliage;
- Piante da battaglia;
- Veleno o rimedio? Dipende dalla dose;
- Il sorprendente arsenale dei licheni.

Alla fine di ogni articolo ci sono alcune domande di comprensione e dei suggerimenti per fare delle ricerche in Rete, mentre nell'ultima pagina, una bibliografia e sitografia minima suggerisce ulteriori letture per approfondire i temi trattati.

COLORAZIONI PIÙ CHIARE CONTRO I CAMBIAMENTI CLIMATICI

di EUGENIO MELOTTI

Tra le tante conseguenze del riscaldamento globale ce n'è una inattesa. Secondo gli scienziati dell'Imperial College di Londra, la composizione delle comunità di farfalle e libellule europee negli ultimi anni si è modificata. Le specie dai colori più chiari stanno soppiantando quelle scure, confinate sempre più a Nord.

Come succede per lucertole, serpenti e altri animali eterotermi, negli insetti la colorazione del corpo è fondamentale per la termoregolazione. Quelli scuri assorbono maggiormente la luce solare e quindi riescono a scaldarsi in tempi più rapidi, un vantaggio non da poco per animali volatori.

Non a caso, molte farfalle di montagna, come quelle appartenenti al genere *Erebia* (figura A), hanno colori scuri che spesso tendono al nero. Al contrario, nei climi più caldi può essere utile una livrea bianca o molto chiara, che riflette la luce ed evita il surriscaldamento.

CHE FINE FANNO GLI INSETTI PIÙ SCURI?

In uno scenario in cui la temperatura media del pianeta sta aumentando, dunque, non stupisce che le specie scure siano più penalizzate, come suggerisce uno studio pubblicato su *Nature Communications*. Per appurare l'esistenza di una correlazione tra colorazione e temperatura, gli scienziati hanno eseguito scansioni del corpo e delle ali di 366 specie di farfalle e 107 specie di libellule presenti in tutta Europa. Hanno poi combinato l'analisi delle immagini digitali eseguite per valutare le variazioni di colore con i dati relativi alle mappe di distribuzione delle diverse specie. Risultato: una netta dominanza di insetti di colore chiaro nelle zone calde del Sud dell'Europa, e viceversa una prevalenza di quelli scuri nel Nord più fresco.



Figura A Come un pannello solare, le ali scure di questa *Erebia cassioides* assorbono il calore e consentono alla farfalla di regolare la propria temperatura corporea. Un indubbio vantaggio in alta montagna, che però sta costringendo molte specie scure a spostarsi sempre più a Nord e in alta quota per sfuggire al riscaldamento globale.

© Eugenio Melotti

I ricercatori hanno anche esaminato i cambiamenti nella distribuzione delle specie su un periodo di diciotto anni (dal 1988 al 2006), per verificare eventuali variazioni dovute al riscaldamento climatico. I risultati hanno mostrato che in media gli insetti stanno diventando più chiari, e che quelli di colore più scuro si stanno spostando verso le zone più fresche ai margini occidentali dell'Europa, ovvero le Alpi e i Balcani.

L'autore principale dello studio, Dirk Zeuss della Philipps-Universität Marburg in Germania, ha dichiarato: «Quan-

do studiamo la biodiversità, spesso non conosciamo le regole generali sul perché certe specie si trovano in determinate zone e non in altre. Con questa ricerca siamo stati in grado di dimostrare quali specie di farfalle e di libellule in tutta Europa sono distribuite in base alla capacità di regolare il calore corporeo attraverso la loro variazione di colore. Finora potevamo solo osservare i massicci cambiamenti nell'entomofauna negli ultimi vent'anni. Adesso abbiamo un'idea più precisa della causa di questi cambiamenti».

Rispondi e ricerca

- Che cosa ha dimostrato la ricerca pubblicata su *Nature Communications*?**
- Perché la colorazione incide sulla termoregolazione degli organismi?**
- Attraverso una ricerca in Rete verifica se il fenomeno descritto riguarda soltanto farfalle e libellule o anche altre specie animali.**

CONTRO IL FREDDO: ECCO LE STRATEGIE DELLA NATURA

di GIULIA BIANCONI

Ci sono animali che vivono, o forse dovremmo dire prosperano, a temperature che vanno anche di molto sotto zero, quando noi invece battiamo i denti. La loro storia evolutiva ci parla di adattamenti spinti in questa direzione. Per approfondire questi temi abbiamo intervistato Sara Borin, esperta di ambienti estremi del Dipartimento di Scienze e Tecnologie Alimentari e Microbiologiche della Facoltà di Agraria di Milano, Eva Pisano, docente di biologia al Dipartimento per lo studio del Territorio e delle sue Risorse dell'Università di Genova, e Roberto Bargagli, direttore del Dipartimento di Scienze Ambientali dell'Università di Siena.

QUALI ORGANISMI VIVONO A TEMPERATURE GLACIALI?

Gli organismi che vivono negli ambienti freddi si devono adattare a condizioni dette «estreme», lontane dalle temperature fisiologiche per gli esseri umani. Gli organismi che vivono negli ambienti

estremi (non solo quelli freddi, ma anche quelli molto caldi o salati o acidi per esempio) vengono per questo chiamati *estremofili*, letteralmente «amanti degli estremi». Molti estremofili sono così ben adattati al loro habitat che non sopravvivono se portati alle nostre condizioni di vita. La definizione di ambiente estremo dipende quindi dal punto di vista: per un microrganismo che vive unicamente a temperature glaciali, sono le nostre latitudini a essere un luogo inospitale. Esistono microrganismi chiamati *psicrofili*, che tollerano anche temperature inferiori a 0 °C, ma non sopravvivono sopra i 20 °C (**figura A**). Mentre microrganismi definiti *psicrotolleranti* riescono a sopravvivere sia al freddo sia a temperature calde, superiori ai 30 °C. Una grande varietà di microrganismi psicrofili sono stati ritrovati in tutti gli habitat freddi della Terra, fondali oceanici, ghiacciai, suoli permanentemente congelati (permafrost), e il loro studio è servito a scoprire diversi meccanismi per sopravvivere al freddo (**figura B**, nella pagina seguente).

QUALI SONO QUESTI MECCANISMI?

I microrganismi non riescono a mantenere all'interno della cellula una temperatura diversa dall'ambiente esterno. I problemi causati dalle basse temperature esterne per i microrganismi sono sia di tipo fisico, legati ai danni che i cristalli di ghiaccio possono provocare alle strutture cellulari, sia di tipo biochimico, spiegati dalla *legge di Arrhenius*, che stabilisce che la velocità delle reazioni chimiche è inversamente proporzionale alla temperatura.

Al freddo quindi gli enzimi cellulari rallentano l'attività, le proteine tendono a cambiare conformazione e le membrane cellulari si irrigidiscono, con conseguenti danni alla struttura delle macromolecole e la loro perdita di funzionalità. Per sopravvivere a questi effetti dannosi provocati dal freddo, gli psicrofili possiedono enzimi modificati attivi a basse temperature, e membrane cellulari più fluide per risentire meno dell'effetto di irrigidimento che condiziona il passaggio di sostanze tra interno ed esterno della cellula. Dato che a basse temperature la solubilità intracellulare dell'ossigeno aumenta, le cellule devono anche fronteggiare una maggiore concentrazione di molecole reattive e derivanti dalla incompleta riduzione dell'ossigeno, per esempio i radicali liberi, che danneggiano le macromolecole della cellula. Per evitare questi danni i batteri psicrofili possiedono particolari enzimi protettivi.

Un'ulteriore protezione dagli effetti deleteri del freddo è costituita dalla produzione, sia all'interno della cellula sia nell'ambiente circostante, di piccole molecole organiche con funzione di anti-gelo, denominate «soluti compatibili». Queste, abbassando la temperatura di con-

Figura A Una colonia di batteri psicrofili *Rhodoglobus vestalii* fotografata con il microscopio elettronico a scansione (SEM).



© Penn State University/SCIENCE PHOTO LIBRARY/AGF

gelamento dell'acqua, limitano i danni causati dai cristalli di ghiaccio.

Un gruppo di ricercatori appartenenti a laboratori italiani e spagnoli ha scoperto che un batterio psicrofilo isolato in Antartide è capace di crescere a temperature vicine a 0°C , *Oleispira antarctica*, produce come protezione dagli effetti del freddo una particolare proteina, appartenente al gruppo delle chaperonine.

Durante la sintesi proteica, le chaperonine (presenti in tutte le cellule) guidano la proteina neo-sintetizzata nel processo di riavvolgimento per farle assumere la struttura tridimensionale definitiva e funzionante. Nel caso dello studio italo-spagnolo è stato ipotizzato che le chaperonine di *O. antarctica* avessero un ruolo importante nel proteggere le proteine cellulari dagli effetti dannosi del freddo. Per confermare questa ipotesi i ricercatori hanno ingegnerizzato una coltura di *Escherichia coli* così da fargli produrre alcune chaperonine di *O. antarctica*. Il batterio risultante era in grado di crescere a 4°C , temperatura normalmente proibitiva per *E. coli*. Questa scoperta, oltre ad allargare le nostre conoscenze riguardo alle capacità degli organismi di resistere al freddo, ha anche grandi potenzialità per creare ceppi microbici ricombinanti capaci di crescere e avere attività particolari anche in ambienti freddi.

ticolare si formano in continuazione cristalli di ghiaccio che possono con facilità avviare un processo di congelamento, sia dall'esterno del corpo, per contatto, oppure dall'interno del corpo, dove cristalli di ghiaccio penetrano con facilità insieme al cibo ingerito o all'acqua che irrorano le branchie durante la respirazione.

La strategia di base messa in atto da questi animali è pertanto quella di evitare il congelamento. Come? Nel corso della loro storia evolutiva i progenitori degli attuali pesci antartici hanno avuto una mutazione in un tratto del loro DNA che codificava per alcuni enzimi digestivi pancreatici (simili al tripsinogeno); a seguito di questa modificazione il tratto genico «anomalo» ha acquisito la capacità di codificare molecole con una particolare funzione, quella antigelo. Queste molecole sono piccoli glicopeptidi (tre amminoacidi legati a una molecola di zucchero) prodotti in grande quantità e liberati nel sangue e in tutti i liquidi corporei. Solo recentemente, dopo aver ricostruito la storia genetica dei geni codificanti queste proteine si è potuto verificare che questi antigelo biologici non vengono prodotti nel fegato, come si pensava in precedenza, ma dal pancreas.

COME AGISCONO LE MOLECOLE ANTIGELO DEI PESCI ANTARTICI?

Le numerose piccole molecole antigelo in circolo, una volta arrivate a contatto con cristalli di ghiaccio all'interno del corpo, ne impediscono la possibilità di confluire e aumentare di dimensione, bloccando così il processo di congelamento. L'azione di queste molecole abbassa la temperatura di congelamento di questi animali di circa un grado, portandola a -2°C , quindi a un valore più basso rispetto alla temperatura dell'acqua marina circostante.

Una volta superato il problema del congelamento a livello generale con l'acquisizione della capacità di sintetizzare queste proteine, altre strategie strutturali e funzionali molto importanti permettono lo svolgimento delle funzioni cellulari e metaboliche. Le membrane cellulari, per esempio, sono ricche di grassi insaturi che le rendono più fluide e gli enzimi sono modificati per essere attivi a basse temperature. In questi aspetti biochimici e cellulari, come si vede, complessi organismi eucarioti come i pesci non si comportano in modo molto diverso dai batteri, anzi c'è una forte convergenza nelle strategie adattative di organismi che sembrerebbero avere ben poco in comune.

QUALI STRATEGIE ADOTTANO CONTRO IL FREDDO I PESCI CHE VIVONO NELLE ACQUE POLARI?

I pesci sono il gruppo di animali che più di tutti contribuisce alla biodiversità dei vertebrati. Se ne conoscono infatti oltre 25 000 specie, distribuite in tutti gli ambienti acquatici del mondo; tuttavia solo pochi pesci, molto particolari, sono adattati alle condizioni uniche del mare che circonda l'Antartide (figura B). In questi ambienti la temperatura è di -2°C : la temperatura interna dei pesci, che sono animali eterotermi, è identica a quella esterna. Inoltre in questo ambiente marino par-



Figura B I pesci adattati a vivere in ambienti polari presentano ghiaccio al proprio interno e vivono spesso sotto lastre di acqua ghiacciata.

© Eugeny Kovalev SPB/shutterstock

SONO BEN 200 LE SPECIE INTRODOTTE PER SBAGLIO IN ANTARTIDE DALL'UOMO: COME È POSSIBILE CHE SI SIANO ADATTATE COSÌ VELOCEMENTE AL FREDDO?

Per affrontare il problema occorre distinguere le diverse zone biogeografiche: Antartide continentale, Antartide marittimo e sub-Antartide. L'Antartide continentale è un deserto freddo e soprattutto a causa della mancanza di acqua liquida, i microrganismi, le spore e i pollini trasportati dal vento, dagli uccelli migratori o importati accidentalmente dall'uomo con gli aerei, le navi, i vestiti e alcuni tipi di alimenti come le patate o altri vegetali, hanno scarsissime possibilità di svilupparsi. Nelle zone del continente dove solo per brevissimi periodi durante l'estate australe può essere disponibile dell'acqua liquida, possono crescere solo batteri, funghi microscopici, alghe, licheni e muschi. Molte specie non sono endemiche dell'Antartide (ma cosmopolite)

e come succede in altri ambienti estremi, esse riescono a sopravvivere al freddo e al buio dell'inverno antartico in una forma di vita latente, in assenza o quasi di acqua nei tessuti, per poi riprendere il loro metabolismo non appena, in estate, tornerà disponibile l'acqua.

In uno studio apparso su *Proceedings of the National Academy of Sciences* si parla invece di Antartide marittimo e sub-Antartide (costa occidentale della Penisola Antartica e le molte isole che circondano il continente). Questi territori sono caratterizzati da condizioni ambientali meno estreme (disponibilità di acqua e temperature spesso superiori a 0 °C) e quindi, anche da maggiore biodiversità. Nell'Antartide marittimo vi sono due specie di piante erbacee e la biodiversità della flora e della fauna aumenta considerevolmente nelle isole sub-antartiche. Queste infatti, si trovano alla stessa latitudine e con condizioni climatiche e ambientali abbastanza simili a quelle della Scandinavia o di altre regioni antropizzate dell'emisfero settentrionale. Quindi la presenza di circa 200 specie «aliene» negli ecosi-

stemi terrestri delle isole sub-antartiche non deve sorprendere: si tratta per lo più di piante erbacee invasive su scala globale (soprattutto *Poaceae* ed *Asteraceae*) già pre-adattate alle condizioni ambientali di isole come le Kerguelen o le Crozet. Siccome lo studio delle specie aliene è stato rivolto soprattutto alle piante superiori e alla macro-fauna, molto probabilmente, nei prossimi anni nelle isole sub-antartiche verranno scoperti molti altri «invasori», specialmente tra batteri, microinvertebrati terrestri, alghe, funghi, licheni, epatiche e muschi (figura C).

Rispondi e ricerca

- Quali adattamenti sono stati adottati dagli esseri viventi che popolano le regioni più fredde del pianeta?
- Che differenza esiste tra i termini «estremofilo», «psicrofilo» e «psicrotollerante»?
- Quali conseguenze ha avuto per la flora e la fauna locali l'introduzione di nuove specie in Antartide?
- Attraverso una ricerca in Rete, prepara uno slideshow di immagini che evidenzino i migliori adattamenti al freddo e al caldo mostrati da animali e piante di tutto il pianeta.

Figura C La popolazione di *Pringlea antiscorbutica*, o cavolo delle Kerguelen, è stata ridotta sensibilmente dall'introduzione di conigli da parte dell'uomo, così come molti uccelli hanno perso le proprie nidiate a causa dei gatti portati dagli esploratori come animali di compagnia.



GHIACCIO BOLLENTE

di STEFANO DALLA CASA



©Uwe Kils/Wikimedia Commons

Figura A I pesci ghiaccio hanno un corpo traslucido, molto allungato, con testa schiacciata, bocca e occhi piuttosto grandi.

I Notothenioidei, spesso chiamati «pesci ghiaccio», sono un sottordine di pesci diffusi nell'emisfero meridionale (**figura A**). Le specie che vivono più vicino al Polo hanno nei loro fluidi corporei particolari proteine che si legano ai cristalli di ghiaccio e ne impediscono l'accrescimento, permettendo agli animali di non congelarsi.

Diversi animali, e persino piante, possiedono analoghe proteine antigelo ma i pesci ghiaccio sono diventati ormai un esempio classico per spiegare come l'evoluzione permetta alle forme viventi di colonizzare anche gli ambienti più inospitali.

Ora una nuova ricerca pubblicata sulla rivista *Proceedings of the National Academy of Sciences*, ha invece svelato il rovescio della medaglia di questa elegante trovata evolutiva dei Notothenioidei: le stesse proteine che impediscono ai cristalli di ghiaccio di accrescersi, impediscono anche a questi ultimi di sciogliersi quando le temperature sono superiori allo zero.

ESISTE IL GHIACCIO A TEMPERATURE SUPERIORI AL PUNTO DI CONGELAMENTO?

Era noto da tempo che in condizioni di laboratorio le AFP (*anti-freezing proteins*) potessero creare ghiaccio «sovrariscaldato», cioè cristalli che sono stabili a temperature superiori al punto di congelamento (e quindi non si sciolgono), ma ora un gruppo internazionale di biologi ha dimostrato che questo accade normalmente anche all'interno dei pesci ghiaccio.

Per stabilirlo, i ricercatori hanno campionato i Notothenioidei presenti nel Canale di McMurdo, in Antartide, quasi perennemente bloccato dai ghiacci durante il periodo invernale. I pesci sono stati trasferiti in laboratorio e monitorati in speciali acquari dove i ricercatori potevano alzare e abbassare a piacimento la temperatura. I campioni di siero prelevati hanno rivelato che, grazie alle proteine anti-gelo, i nuclei di ghiaccio resistevano anche quando la temperatura dell'acqua era superiore an-

che di un grado rispetto al punto di congelamento, che per l'ambiente interno dei Notothenioidei è stato valutato -1°C .

MA SUCCEDE LA STESSA COSA ANCHE IN NATURA?

I biologi sono tornati a pesca nel gennaio del 2013 (estate nell'emisfero australe), in un momento in cui le acque del Canale di McMurdo erano diventate calde in modo anomalo. Anche in questo caso, nonostante la temperatura fosse di mezzo grado superiore a quella di congelamento, nel siero dei pesci continuava a esserci il ghiaccio, stabilizzato dalle proteine AFP. Questo, secondo i ricercatori, significa che i pesci non hanno possibilità di disfarsi dei nuclei di ghiaccio presenti nei loro tessuti quando le acque sono più calde. Come fanno, allora, a evitare che si accumulino troppo ghiaccio? I ricercatori azzardano l'ipotesi che sia il sistema immunitario a riconoscere il ghiaccio incapsulato dalle proteine e a riuscire così a disfarsene, oppure è anche possibile che il ghiaccio possa accumularsi senza interferire seriamente col ciclo vitale dell'animale. In ogni caso, questi strani pesci non hanno ancora finito di insegnarci l'evoluzione.

Rispondi e ricerca

- Perché i Notothenioidei vengono anche chiamati «pesci ghiaccio»?**
- Descrivi brevemente il processo che consente a questi pesci di resistere nelle gelide acque dei Poli.**
- Aiutandoti con una ricerca in Rete, descrivi almeno tre casi di adattamento animale a un ambiente estremo e presentali attraverso una presentazione in PowerPoint (o programmi simili).**

CONSIGLI VEGETALI PER RESISTERE AL GELO

di EUGENIO MELOTTI

© Erni/shutterstock



Figura A Mentre gli animali possono migrare o andare in letargo nei mesi invernali, le piante adottano strategie di autoconservazione, che riducono al minimo gli sprechi energetici fino all'arrivo della primavera.

Quando fa molto freddo, i mammiferi vanno in letargo, o per lo meno aumentano il grasso sottocutaneo e infoltiscono la pelliccia. E le piante? Non potendosi spostare, devono resistere al gelo come riescono. Ma non fatevi ingannare: sono ben equipaggiate (**figura A**).

Le prime piante con fiori (le angiosperme) si sono evolute in luoghi dal clima tropicale caldo. Ma nella conquista delle terre emerse nemmeno le latitudini più estreme o le cime montuose le hanno fermate, tanto che oggi sono di gran lunga il gruppo dominante, con circa 300 000 specie.

Per passare dai tropici all'Artico, naturalmente, è stato necessario adottare alcune strategie, ma tutto sommato nemmeno troppe. Un gruppo internazionale di ricercatori ha infatti scoperto che molti adattamenti utili ad affrontare il gelo erano già presenti da tempo. Semplicemente, sono stati riutilizzati per altri scopi.

QUALI SONO I PRINCIPALI ADATTAMENTI DELLE PIANTE CONTRO IL FREDDO?

Nello studio, pubblicato su *Nature*, i ricercatori guidati da Amy Zanne hanno rico-

struito il più grande albero evolutivo delle angiosperme finora realizzato, che include oltre 32 000 specie. Hanno quindi individuato alcuni tratti fondamentali per superare i mesi più freddi, in gran parte sfruttando gli immensi database del National Evolutionary Synthesis Center in North Carolina e della Macquarie University in Australia.

Tra i principali adattamenti c'è la perdita delle foglie tipica delle caducifoglie, spesso accompagnata a una riduzione dell'apparato radicale e all'interruzione del trasporto di liquidi fino al ritorno della bella stagione. Altre piante, invece, si disfano anche del fusto, lasciando alle radici il compito di ricostruirlo. I semi svernanti sono un'altra ottima soluzione, economica ed efficace.

Oltre al freddo, però, c'è un altro pericolo mortale. Il congelamento e il disgelo infatti possono portare alla formazione di piccole bolle d'aria (come quelle che si osservano nei cubetti di ghiaccio). Bolle sufficientemente grandi, formate dall'unione di bolle più piccole, potrebbero ostruire completamente i vasi che trasportano acqua e linfa, condannando a morte la pianta. Per ridurre un simile

rischio, alberi come il pioppo e la betulla hanno ridotto le dimensioni delle cellule vascolari.

Quando i ricercatori hanno combinato i dati sul congelamento di foglie e steli di migliaia di specie con il loro albero evolutivo, hanno avuto qualche sorpresa. Alcuni adattamenti, come la rigenerazione dall'apparato radicale e la riduzione delle cellule dei tessuti vascolari erano già presenti molto tempo prima che le piante sperimentassero l'ibernazione.

Questi tratti si erano probabilmente evoluti per far fronte a periodi di siccità, ma si sono rivelati molto utili anche per superare la sfida del freddo. Fanno eccezione le caducifoglie: la perdita delle foglie si è infatti evoluta come specifica strategia antigelo.

Rispondi e ricerca

- È corretto affermare che gli animali hanno più difese delle piante contro il gelo? Perché?**
- Quali sono le principali strategie antigelo adottate dalle piante?**
- Fai una ricerca in Rete e verifica quali piante sono presenti nella tua zona e quali accorgimenti adottano nel periodo invernale, quindi esponi brevemente i risultati.**

COLORI D'AUTUNNO: IL FOLIAGE

di GIULIA BIANCONI

Nel periodo autunnale tutti gli anni vediamo cambiare in maniera graduale l'aspetto del nostro verde urbano e della campagna. Le chiome degli alberi progressivamente si tingono di giallo e arancione, oppure virano in sfumature di rosso e marrone. Poi, con l'avvicinarsi dell'inverno, una parte di queste foglie cade inesorabilmente a terra. Paolo Trost insegna fisiologia molecolare delle piante all'Università di Bologna e assieme a lui vogliamo capire quale sia la spiegazione biologica e chimica alla base di questi fenomeni, che sempre più spesso vengono definiti con un termine francese: *foliage*.

QUALI SONO LE PIANTE CHE NEL PERIODO AUTUNNALE PRESENTANO IL CAMBIO DI COLORE DELLE FOGLIE?

La comparsa di colori autunnali nella chioma è un fenomeno tipico delle foreste decidue dei climi temperati (**figura A**).

Le piante decidue (o caducifoglie) sono alberi e arbusti che perdono le foglie prima di una stagione climatica sfavorevole, che nelle regioni temperate dell'emisfero Nord è rappresentata dall'inverno. Non tutte le piante decidue presentano i colori autunnali tipici del foliage: si stima infatti che sia solo un quarto delle specie arboree dei climi temperati a mostrare questa caratteristica.

Nella maggior parte delle caducifoglie, infatti, la foglia verde schiarisce progressivamente e poi diventa bruna prima di cadere, non diventa rossa o totalmente gialla. In altre specie, invece, il colore delle foglie cambia completamente: da verde può virare verso il giallo o l'arancione, oppure puntare decisamente al rosso brillante, al porpora o al marrone. In queste specie le foglie colorate possono restare attaccate all'albero per lunghi periodi, in alcuni casi fino a due mesi, donando alle singole piante e all'intera foresta degli effetti cromatici spettacolari.

La manifestazione dei colori autunnali è un carattere a forte controllo genetico. L'ambiente fa la sua parte per quanto riguarda l'innescò e la durata del foliage, ma la manifestazione di questo carattere (il fenotipo) dipende soprattutto dal patrimonio genetico delle diverse specie. E non necessariamente specie strettamente imparentate si comportano allo stesso modo da questo punto di vista. Di 85 specie di acero recentemente analizzate, infatti, circa un terzo non presenta il foliage, mentre altre specie all'interno del genere *Acer* diventano gialle e/o rosse in autunno. In uno studio recente ben 290 specie arboree appartenenti a famiglie botaniche diverse sono state classificate sulla base dei colori autunnali: per la maggior parte sono rappresentate da angiosperme, cioè piante che producono fiori. Interessante è il caso delle varietà coltivate di melo (selezionate artificialmente per la qualità dei frutti) che non presentano il foliage, al contrario delle varietà selvatiche. Ci sono esempi anche tra le gimnosperme, anche se si tratta di poche specie: alcuni larici diventano gialli, mentre nei *Taxodium* è prevalente una colorazione bruna. Bellissimo è anche il colore giallo che assume il *Ginkgo biloba*, gimnosperma antichissima.

QUALI DIFFERENZE PRESENTANO LE PIANTE CHE MANIFESTANO IL FOLIAGE RISPETTO A QUELLE CHE SONO COLORATE DI ROSSO TUTTO L'ANNO, COME ALCUNI ACERI?

Il colore verde delle foglie dipende dalla clorofilla, un pigmento che ha un'elevata capacità di assorbire alcune componenti della luce visibile, una proprietà



Figura A Un tipico paesaggio boschivo dell'Italia prealpina, dove i boschi di caducifoglie si tingono di giallo e arancio prima dell'inverno.

fondamentale per la fotosintesi. La clorofilla assorbe prevalentemente le componenti blu e rossa della luce solare, ma riflette la luce verde che noi percepiamo. Anche se le foglie d'estate ci appaiono verdi, ciò non significa che non contengano altre molecole colorate (pigmenti); la loro presenza è di solito completamente mascherata dalla clorofilla e quindi non percepibile dall'occhio umano.

In autunno, con l'invecchiamento delle foglie, nelle piante decidue la clorofilla viene progressivamente degradata, e si rivelano gli altri pigmenti presenti. Nel Nord Europa questi sono rappresentati soprattutto dai carotenoidi. I colori dei diversi tipi di carotenoidi spaziano dal giallo, all'arancione e al rosso, anche se i carotenoidi rossi (come il *licopene* che colora i frutti del pomodoro) non sono comuni nelle foglie. La funzione dei carotenoidi è sia di aiuto alla fotosintesi, perché assorbono parte della luce che non viene assorbita dalla clorofilla, sia di fotoprotezione: la fotosintesi stessa può essere infatti fonte di stress ossidativo e i carotenoidi sono importanti antiossidanti naturali.

Negli alberi con colori autunnali che virano verso il rosso sono chiamati in causa ulteriori pigmenti, le antocianine o *antociani* (una particolare categoria di flavonoidi). A differenza di clorofilla e carotenoidi, le antocianine non hanno un ruolo nella fotosintesi e non sono normalmente presenti nelle foglie. Vengono prodotte in condizioni di stress, per esempio a causa del freddo, e in alcune specie anche durante l'invecchiamento delle foglie (*senescenza*). Le antocianine sono responsabili della colorazione autunnale rossa di specie come l'acero saccharifero (*Acer saccharum*) diffuso in Nord America. In altre specie di acero, per esempio *Acer palmatum*, le antocianine fogliari sono presenti in grande quantità durante l'intera stagione vegetativa, e per questo motivo le foglie sono sempre rosse. Sono situazioni particolari in cui la colorazione della clorofilla, che pure è presente altrimenti queste piante non potrebbero vivere, è sovrastata dal colore delle antocianine.

CHE SIGNIFICATO HA QUESTA FASE NELLA VITA DI UNA Pianta CADUCIFOGLIA?

Queste piante hanno foglie troppo delicate per resistere alle temperature invernali e non adatte a sopportare eventuali gelate. Temperature basse e molta luce, tipiche in una bella giornata d'inverno, rappresentano delle condizioni difficili per queste piante: l'apparato fotosintetico può infatti trasformarsi in una fonte di «Specie Reattive dell'Ossigeno» (ROS), molecole molto aggressive che possono danneggiare le foglie e renderle facile preda di patogeni. Insomma, per molte specie arboree la perdita delle foglie in autunno può essere una forma di difesa preventiva, non troppo costosa per il bilancio globale della pianta visto che gran parte dei nutrienti possono essere recuperati prima che la foglia sia abbandonata al suo destino.

PERCHÉ IN ALCUNE SPECIE LA PERDITA DELLE FOGLIE SI ACCOMPAGNA ALLA COMPARSA DEI COLORI AUTUNNALI MENTRE IN MOLTE ALTRE NO?

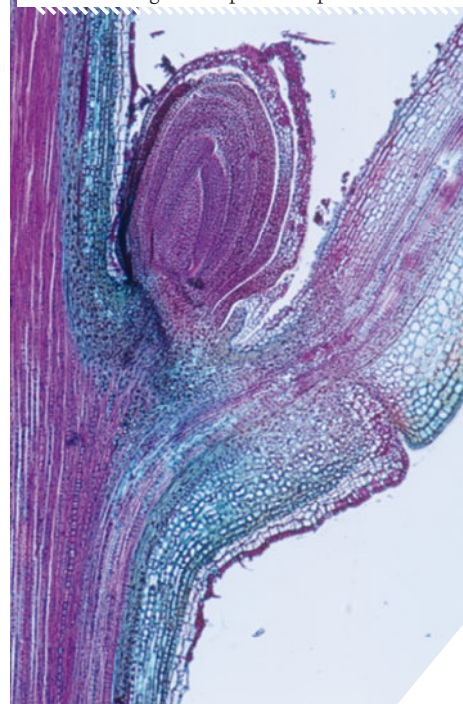
Sono state avanzate diverse teorie alternative per spiegare il fenomeno. L'idea di fondo è che la colorazione autunnale sviluppata da alcune piante debba rappresentare una forma avanzata di protezione, nei confronti di stress fisici o nei confronti di insetti parassiti. Nel primo caso si parla di un'ipotesi fotoprotettiva: con l'arrivo dell'autunno la pianta si prepara a recuperare i nutrienti dalle foglie e smantellare i loro apparati fotosintetici. Senza clorofilla infatti la luce può indurre facilmente la formazione di ROS. Non solo i carotenoidi che sono già presenti nella foglia, ma anche le antocianine sintetizzate specificamente in autunno possono avere una funzione fotoprotettiva: in particolare le antocianine svolgono un ruolo schermante perché assorbono luce senza trasmetterla agli apparati fotosintetici. Non solo, sia le antocianine sia i carotenoidi hanno anche un'attività antiossidante e neutralizzano direttamente le ROS. La più importante ipotesi alternativa è quella della coevoluzione, basata sull'os-

servazione di molte specie di insetti, come gli afidi, che cercano rifugio negli alberi in autunno per svernare. Il colore acceso del fogliame autunnale, soprattutto le tonalità del rosso, verrebbero interpretate dagli insetti come un segnale di pericolo. Alcuni studi hanno di fatto dimostrato che gli afidi sono più attratti dalle foglie verdi rispetto a quelle rosse. Alcune specie vegetali avrebbero quindi evoluto la colorazione rossa autunnale per evitare di essere colonizzate dagli afidi e altri insetti durante l'inverno. Inoltre, almeno in alcuni casi, è stato dimostrato che le foglie ricche di antocianine hanno un maggior contenuto di sostanze fenoliche che costituiscono delle difese chimiche nei confronti degli erbivori.

COME SI DETERMINA IL DISTACCO DELLE FOGLIE?

Il distacco delle foglie, ovvero l'abscissione fogliare (**figura B**), è un processo attivo che la pianta regola in modo accurato. La prima necessità della pianta decidua è il recupero in autunno delle sostanze

Figura B Al microscopio ottico è possibile osservare l'inizio del distacco di una foglia dal ramo che la sostiene, mentre già si vede la gemma della nuova foglia che spunterà a primavera.



© biodisc/SCIENCE PHOTO LIBRARY/AGF

Figura C A differenza dei boschi europei, quelli dell'America settentrionale sono formati soprattutto da aceri, che d'autunno mostrano una colorazione rossastra molto intensa.



© Donland/shutterstock

nutritive presenti all'interno delle foglie che entrano in fase senescente. Le proteine sono un'importante fonte di azoto che vengono degradate ad amminoacidi, trasportati poi dalla foglia al resto della pianta. La stessa sorte tocca agli elementi minerali. Terminata la fase di recupero, può iniziare l'abscissione. Il distacco del picciolo avviene in un punto ben definito, in corrispondenza di uno o più strati di cellule modificate che costituiscono la zona di abscissione. Queste cellule sono morfologicamente diverse dalle altre cellule del picciolo: lungo l'asse di accrescimento del picciolo sono molto più schiacciate e spesso si possono riconoscere, così differenziate, molti mesi prima dell'autunno. Due sono i principali ormoni coinvolti nell'abscissione, l'*auxina* e l'*etilene*. Il loro effetto è antagonistico: mentre l'*auxina* contrasta l'abscissione, l'*etilene* la promuove. Prima dell'autunno, i livelli di *auxina* nelle foglie sono sufficienti a impedire l'effetto dell'*etilene*, ma l'innescio del processo di abscissione avviene proprio quando, nella foglia senescente, l'*auxina* inizia a mancare. L'azione dell'*etilene* consiste nell'attivazione di geni che codificano per enzimi capaci di disgregare la parete cellulare, ma solo nelle cellule della zona di abscissione. Il risultato è un distacco netto della foglia in un punto ben preciso. Per evitare che le ferite generate dall'abscissione fogliare diventino facili siti di penetrazione per microrganismi patogeni, le piante le cicatrizzano con depositi di sostanze come callosio e lignina e, in alcuni casi, producono anche proteine ad azione antimicrobica.

ESISTE UN'INFLUENZA DEI GAS SERRA SUL FENOMENO DEL FOLIAGE?

Non ci sono molti studi in proposito, ma è almeno possibile tracciare qualche

considerazione ragionevole. Fermo restando che la manifestazione dei colori autunnali ha una forte base genetica e riguarda solo alcune specie, l'intensità e la durata del fenomeno dipendono certamente dall'ambiente. Per esempio, soprattutto nelle foreste del Nord America si ritiene che l'alternanza di giorni caldi e soleggiati e notti fredde (ma senza gelate) sia una condizione che favorisce le più spettacolari colorazioni autunnali. Viceversa un autunno uniformemente caldo potrebbe diminuire l'intensità del foliage. L'aumento dei gas serra nell'atmosfera è causa di un aumento globale della temperatura che riguarda anche le regioni temperate. È possibile che il riscaldamento globale contribuisca al ritardo della comparsa dei colori autunnali e che forse in un futuro prossimo, quando le temperature saranno più elevate, ne risulti attenuata anche l'intensità.

In effetti le foreste del Nord America, e in modo particolare nella regione del New England, sono costituite prevalentemente da specie che assumono colorazioni spettacolari in autunno. In particolare prevalgono in tutto il Nord America, come pure in Estremo Oriente, gli alberi a colorazione autunnale rossa. All'opposto, nelle foreste temperate del Nord Europa prevale la colorazione gialla e molte specie non hanno colori autunnali. La

ragione del minor numero relativo di specie europee con vivaci colorazioni autunnali va ricercata nel maggior tasso di estinzione di specie arboree che si è verificato nel nostro continente a seguito delle glaciazioni del Pleistocene. Il foliage del New England (**figura C**) è prima di tutto una conseguenza della maggior ricchezza di specie presenti in questa regione che hanno conservato questo carattere. Per le ragioni già ricordate, in questa zona contribuiscono certamente anche le condizioni climatiche che ne fanno risaltare l'intensità e, ai nostri occhi, la bellezza.

Rispondi e ricerca

- Che cosa indicano i termini «foliage» e «abscissione»?
- Quali pigmenti sono presenti nelle piante e quali funzioni svolgono?
- Quali differenze esistono tra un bosco prealpino e un bosco nordamericano?
- Aiutandoti con una ricerca in Rete, compara il comportamento autunnale di un acero (*Acer saccharum*), una quercia (*Quercus robur*) e un castagno (*Castanea sativa*).

PIANTE DA BATTAGLIA

di STEFANO DALLA CASA

© kapyos/shutterstock



Figura A Le piante non sono quegli organismi inerti che appaiono, ma sanno adattarsi all'attacco degli animali producendo sostanze di difesa in tempi rapidissimi.

Quando una giraffa brucia un'acacia, la pianta comincia a sintetizzare *tannini*: in brevissimo tempo non solo le foglie della pianta diventano immangiabili, ma quando le piante vicine captano i tannini dispersi nell'aria (si tratta infatti di composti volatili) cominciano a produrli a loro volta, preparandosi a un eventuale attacco da parte degli erbivori (**figura A**). Questo è solo uno dei tanti esempi di come le piante riescono a comunicare tra loro per difendersi a vicenda, un po' come dei soldati che avvisano i compagni dell'arrivo del nemico. Quello che ancora non sapevamo è che le piante, oltre alle informazioni, si passano anche le "munizioni".

Quando i pomodori sono attaccati dai bruchi delle nottue, comuni parassiti delle piante della famiglia Nottuidi, sintetizzano un composto pesticida chiamato *HexVic*, o (Z)-3-hexenylvicinanoside, grazie al quale riescono a tenere sotto controllo l'infestazione. In condizioni di aerazione controllata, un gruppo di ricercatori giapponesi ha scoperto come le piante che si

trovano sottovento rispetto a quelle attaccate dai bruchi producono molto più *HexVic* di quelle del gruppo di controllo.

È SUFFICIENTE LA COMUNICAZIONE AEREA PER SALVARE LE PIANTE DA UN ATTACCO IMMINENTE?

Fin qui sembrerebbe un caso analogo a quello delle acacie: qualche molecola volatile rilasciata nell'aria evidentemente induce le piante vicine a preparare le proprie difese. Gli scienziati però sospettavano che l'*HexVic* prodotto dalle piante "avvisate" non fosse sintetizzato dal nulla, ma a partire dal (Z)-3-esenolo, un composto presente nell'aria, cioè utilizzando una delle molecole che rilasciano i pomodori attaccati dai bruchi. Per testare questa ipotesi gli scienziati hanno irrorato le piante con una versione leggermente radioattiva della molecola e

poi hanno analizzato i loro tessuti, scoprendo che la totalità dell'*HexVic* accumulato era stato prodotto a partire dal composto radioattivo.

Secondo questi risultati, appena pubblicati sulla rivista *Proceedings of the National Academy of Sciences*, i pomodori non solo usano un composto volatile per comunicare il pericolo, ma trasportano la molecola al loro interno e la utilizzano come base per sintetizzare la loro arma di difesa. I ricercatori stanno già estendendo la loro attenzione ad altre colture in grado di sintetizzare *HexVic*, come il sorgo e il riso, che potrebbero rivelare simili meccanismi di difesa. Kenji Matsui, uno degli autori della ricerca, ha spiegato: «Ora stiamo provando a isolare i geni coinvolti nella sintesi dei composti volatili. Speriamo che ulteriori, approfonditi, studi porteranno a nuove tecnologie che permetteranno di applicare queste scoperte all'agricoltura».

Rispondi e ricerca

- Quali meccanismi di difesa sono noti nelle piante?
- È corretto affermare che gli animali non trovano ostacoli quando si cibano delle piante? Perché?
- Aiutandoti con una ricerca in Rete fai alcuni esempi di sistemi di difesa dei vegetali e presentali alla classe con uno slideshow di fotografie.

VELENO O RIMEDIO? DIPENDE DALLA DOSE

di LISA VOZZA

«Tutto è veleno, e nulla esiste senza veleno. Solo la dose fa in modo che il veleno non faccia effetto», scriveva Paracelso nel 1538. In effetti anche una sostanza innocua come l'acqua è tossica se nell'arco della giornata non ne beviamo almeno un paio di litri. Ma è vero anche il contrario: veleni potenti prodotti da molte piante sono, a certe dosi, medicine utili contro diverse malattie.

LA NATURA PRESENTA POCHI VELENI DAVVERO POTENTI E MOLTE SOSTANZE INERTI?

In natura i veleni sono la norma più che l'eccezione perché offrono un vantaggio competitivo specialmente alle piante, ai funghi e in generale agli organismi fissati al suolo, che non possono fuggire dai predatori. A meno che siano ricoperti di spine o disgustosi, una pianta o un fungo innocui hanno infatti alte probabilità di finire divorati da qualche animale.

I veleni sono comuni anche nel mondo acquatico e anzi sono a volte più potenti di quelli terrestri, perché devono funzionare alla diluizione imposta dall'acqua. Ma anche qui, l'ambiguità fra veleno e rimedio è forte.

Una delle tossine prodotte da alcuni animali marini che appartengono al gruppo dei tunicati è diventata la *trabectedina*, un farmaco che alle dosi corrette funziona contro alcuni tumori. La scoperta delle proprietà antitumorali è quasi tutta italiana: viene dal laboratorio di Maurizio d'Incalci dell'Istituto Mario Negri di Milano.

Il carattere ambivalente di (quasi) ogni sostanza naturale o artificiale, che a seconda della dose può essere un veleno o un rimedio, affascina da sempre i far-

macologi che considerano il mondo dei composti biologici non solo un terreno di caccia formidabile, ma anche una straordinaria fonte di ispirazione. Le strutture chimiche che si sono affermate nel corso dell'evoluzione sono infatti estremamente complesse, raffinate e difficili da imitare, tanto che per alcuni chimici riuscire a riprodurre i composti più complessi è una sfida intellettuale al di là dell'eventuale utilità medica.

PERCHÉ DOBBIAMO IMITARE UNA SOSTANZA SE LA NATURA È IN GRADO DI PRODURLA DA SOLA?

A volte una sostanza naturale ha un buon effetto terapeutico, ma è anche un po' tossica: se è possibile sintetizzarla in laboratorio, si può eliminare o sostituire la parte che la rende poco sicura. È quello che è accaduto per esempio all'*acido salicilico*, che è contenuto nella cor-

teccia del salice bianco, una pianta curativa nota fin dai tempi dei Sumeri. L'aggiunta del gruppo acetile ha portato all'efficace e sicura Aspirina®.

Un'altra ragione per passare dal prodotto naturale a uno di sintesi è che la natura è un fornitore inaffidabile: non solo il raccolto può essere più o meno abbondante a seconda delle stagioni, ma la concentrazione della sostanza che ci interessa può variare addirittura da organismo a organismo, se per esempio uno è più esposto di un altro ai predatori ed è quindi stimolato a produrre più tossine.

Prendete, per esempio, certe piccole rane dorate dalla splendida pelle gialla e lucida (**figura A**), nella loro pelle si trova la *batracotossina*, un veleno potentissimo che se ingerito può uccidere diversi animali neppure troppo piccoli. Le rane però non producono neanche un grammo della dispendiosa tossina se crescono in cattività, in luoghi protetti dove non si trovano i predatori tipici

Figura A La rana freccia (*Phylllobates terribilis*) è un piccolo anfibio altamente tossico che popola le foreste pluviali della Colombia.



© Dirk Ercken/shutterstock

della foresta equatoriale da cui provengono. Da questa tossina non si ricavano farmaci, ma è un esempio di come la produzione naturale dei veleni, e dei rimedi, fluttui molto, a seconda delle condizioni.

L'*artemisinina* è un farmaco fra i più efficaci contro la malaria, ma le fluttuazioni del raccolto e dei prezzi creano problemi notevoli. L'*artemisinina* è infatti estratta dal 1972 da un arbusto chiamato *Artemisia annua* (**figura B**), ma gli effetti di questa sostanza contro le febbri malariche sono noti in Cina almeno dal 340 d.C. Negli ultimi anni il gene necessario a produrre l'*artemisinina* è stato inserito in un microrganismo che può produrre il farmaco in modo molto più costante, prevedibile ed economico rispetto alle coltivazioni dai raccolti e dai prezzi fluttuanti. Un bel vantaggio per gli oltre 200 milioni di pazienti malarici che ci sono nel mondo!

Altri veleni naturali che sono diventati farmaci utili sono la *scopolamina*, un farmaco ottenuto dalla belladonna (**figura C**) che ha aiutato generazioni di marinai e astronauti a vincere la nausea da movimento; gli alcaloidi estratti dai papaveri da oppio, come la *morfina* e la *codeina*, usati nella terapia del dolore (oltre che come droghe ricreative e di abuso, **figura D**); e il *paclitaxel*, un antitumorale trovato nella corteccia velenosa dell'albero del tasso. E l'elenco potrebbe continuare.

I veleni usati come medicine sono forse il più bell'esempio del fatto che la natura di per sé non è mai benigna né maligna. La natura è una risorsa neutra: gli effetti che produce dipendono dall'uso che ne facciamo e soprattutto dalle dosi.

Figura B L'*Artemisia annua* è una piccola pianta erbacea originaria della Cina, ma presente anche in Italia, soprattutto nella Pianura Padana.



© Fabel Froh/Wikimedia Commons

Figura C La pericolosità delle bacche dell'*Atropa belladonna* è nota fin dall'antica Grecia, ma nel Rinascimento le nobildonne ne utilizzavano piccole dosi per far risaltare i loro occhi, sfruttando le proprietà stimolanti delle sostanze in esse contenute.



© Martin Fowler/shutterstock



© Kodda/shutterstock

Figura D Il frutto del papavero, da cui si ricava l'oppio.

Rispondi e ricerca

- È corretto affermare che farmaci e veleni sono due categorie di sostanze nettamente separate? Perché?
- Che cosa spinge alcune specie in natura a produrre veleni?
- Aiutandoti, se necessario, con una ricerca in Rete, fai un esempio di veleno di origine animale e uno di origine vegetale.

IL SORPRENDENTE ARSENALE DEI LICHENI

di LISA VOZZA

Un'alleanza reciprocamente vantaggiosa fra due organismi, un'alga e un fungo oppure un cianobatterio e un fungo, è la ricetta alla base di ogni lichene (**figura A**), di cui si contano migliaia di specie in ogni angolo del pianeta (persino in Antartide). L'alga o il cianobatterio provvedono con zuccheri sintetizzati tramite la fotosintesi al nutrimento del fungo, che non può alimentarsi da solo; in cambio il fungo protegge l'alga o il cianobatterio, fabbricando più di seicento composti a difesa della *simbiosi*. Ma a volte anche i cianobatteri contribuiscono alla produzione delle sostanze difensive.

L'arsenale di molecole protegge i licheni da ogni pericolo: i danni dei raggi UV, le infezioni dei microbi, i morsi degli erbivori (sempre famelici), l'inzeppamento d'acqua, solo per citarne alcuni. A molte di queste sostanze si devono fra l'altro i fantastici colori dei licheni, la fluorescenza di certe specie ai raggi UV e i cambiamenti cromatici in reazione ad alcune sostanze chimiche.

LA PERICOLOSITÀ DEI LICHENI È CONOSCIUTA DA TEMPO?

La tossicità dei licheni è nota da secoli, al punto che alcune specie, fra cui il cosiddetto «lichene dei lupi», erano usate per avvelenare diversi animali feroci. Fra i veleni più potenti prodotti dai licheni ci sono le *microcistine*, presenti in circa una specie su otto e in grado di provocare gravi danni al fegato negli esseri umani e in altri animali.

Anche se sono meno note dell'arsenico, le microcistine sono un veleno po-

tente, tanto che l'Organizzazione Mondiale della Sanità raccomanda che la loro concentrazione nell'acqua potabile non superi i 0,001 mg/L. Le microcistine sono infatti presenti nei laghi e nei fiumi, dove i cianobatteri non legati ai licheni proliferano, liberando tossine che possono accumularsi nei pesci, nei molluschi e intossicare gli esseri umani attraverso la catena alimentare. Nei licheni le microcistine si accumulano nel tallo (la parte vegetativa del lichene) e creano così un deterrente efficace contro gli animali tentati dalle appetitose fronde colorate (**figura B**, nella pagina seguente). Un gruppo di ricercatori dell'Università di Helsinki ha analizzato più di ottocento campioni di licheni provenienti da tutto il

mondo, trovando molte varianti del gene che codifica per le microcistine in circa un centinaio di specie e tracce di tossine in una quarantina di queste. La scoperta è stata pubblicata su *Proceedings of the National Academy of Sciences* a fine febbraio 2012.

I LICHENI POSSONO TORNARE UTILI AGLI ESSERI UMANI?

Un'altra arma prodotta dai licheni è forse l'unica sostanza in grado di distruggere i prioni, secondo uno studio americano pubblicato su *PlosOne* nel 2011. I prioni, responsabili della cosiddetta «malattia della mucca pazza» e di altre patolo-



Figura A Indicatori ambientali, fonti di utili farmaci o di pericolosi veleni: i licheni sono una fonte di scoperte molto variegata per gli ecologi e i farmacologi.

© Flickrview R 2/Wikimedia Commons



Figura B Le renne (*Rangifer tarandus*) si nutrono di numerose specie di licheni, come testimoniato dal nome di uno di questi (*Cladonia rangiferina*).

gie neurologiche anche umane, sono fra le più tenaci molecole biologiche. Resistono a tutto: cottura, congelamento, disinfettanti, alta pressione, irraggiamento, formalina, proteasi e molto altro. Ma una breve immersione in compagnia di un lichene li demolisce in pochi minuti, come ha raccontato Jennifer Frazer nel suo blog sul sito di *Scientific American*. Oltre che navigati produttori di veleni, i licheni sono anche fini sensori della qualità dell'aria. Senza parti decidue che si rinnovano di anno in anno, né stomi che si possono aprire o chiudere, i licheni sono in effetti esposti all'aria

più delle piante e senza interruzioni. I licheni inoltre non hanno radici, perciò l'aria è anche la fonte primaria di ogni sostanza proveniente dall'esterno. Per queste ragioni i licheni accumulano sostanze che spesso riflettono la composizione dell'aria nell'ambiente. Non solo, ma fra le migliaia di specie ce ne sono di diversamente sensibili agli inquinanti. Queste caratteristiche ne hanno fatto una sentinella biologica ideale per monitorare la qualità dell'aria, che è stato scelto da istituzioni come il Servizio forestale degli Stati Uniti o l'*Open Air Laboratory* britannico.

Rispondi e ricerca

- Quali fattori portano alla nascita di un lichene?
- Che cosa si intende con il termine «simbiosi»? Fai alcuni esempi.
- Attraverso una ricerca in Rete verifica quali licheni si trovano nella tua zona e quali indicazioni offrono sulla qualità dell'ambiente in cui si sviluppano.

ALTRE LETTURE PER APPROFONDIRE

Le stranezze del clima, Climate Central, Zanichelli, Bologna, 2013
Quando i cavalli avevano le dita, Gould S. J., Feltrinelli, Milano, 2012
Alle origini della vita, De Duve C., Bollati Boringhieri, Torino, 2011
Darwin, Secord J. – Carroll S. – Jones S. – Seabright P. – Duprè J., Zanichelli, Bologna, 2011
La teoria dell'evoluzione (Farsi un'idea), Pievani T., Il Mulino, Bologna, 2010
Darwin. Alla scoperta dell'albero della vita, Eldredge N., Codice Edizioni, Torino, 2006
Il gene egoista, Dawkins, R., Zanichelli, Bologna, 1979

ALCUNI SITI D'INFORMAZIONE SCIENTIFICA

www.pikaia.eu, il portale dell'evoluzione
lescienze.it, l'edizione italiana di *Scientific American*
evolution.berkeley.edu, il sito sull'evoluzione della Berkeley University of California
nature.com/news, la sezione di notizie giornaliere della rivista scientifica internazionale *Nature*

BIOLOGIA*2014 FRONTIERE SCIENZA BIE

ISBN 978-88-08-83685-4



9 788808 836854

6 7 8 9 0 1 2 3 4 (03L)

**Fascicolo non commerciabile
singolarmente**